



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 41 41 832 C 1

⑤1 Int. Cl. 5:  
C 02 F 11/04  
C 02 F 3/12  
// C 02 F 3/28

②1 Aktenzeichen: P 41 41 832.8-44  
②2 Anmeldetag: 18. 12. 91  
④3 Offenlegungstag: —  
④5 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 19. 5. 93

DE 41 41 832 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Dauber, Siegfried Reinhard, Dipl.-Ing., 5100 Aachen,  
DE

⑦4 Vertreter:

Andrejewski, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Honke, M.,  
Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Masch, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.;  
Albrecht, R., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anwälte, 4300  
Essen

⑦2 Erfinder:

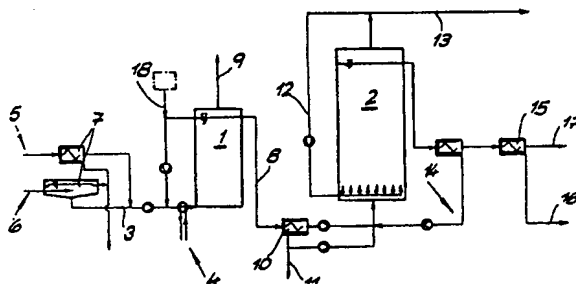
Dauber, Siegfried Reinhard, Dipl.-Ing.; Böhnke,  
Botho, Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c.mult., 5100 Aachen, DE

⑥6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 40 36 548 A1  
DE 40 00 834 A1  
DE 35 34 605 A1  
EP 02 20 647 A1

⑤4 Verfahren zum Betrieb einer einer Kläranlage nachgeschalteten Anlage für die Weiterverarbeitung von Klärschlamm und Anlage für die Weiterverarbeitung von Klärschlamm

⑤7 Verfahren zum Betrieb einer einer Kläranlage nachgeschalteten Anlage für die Weiterverarbeitung von Klärschlamm, der aus einer Mischung von Belebtschlamm aus der Kläranlage und Primärschlamm besteht, wobei die Anlage für die Weiterverarbeitung des Klärschlammes einen anaerob betriebenen Versäuerungsreaktor sowie einen nachgeschalteten anaerob betriebenen Biogasreaktor aufweist. Als Hilfsstoff wird ein Biokatalysator der Gruppe Enzympräparate in den Versäuerungsreaktor eingeführt. Der Versäuerungsreaktor wird im Temperaturbereich von 20° bis 70°C sowie in einem pH-Bereich von 3,5 bis 6,5 gefahren. Einerseits die Temperatur und andererseits der pH-Wert werden so eingestellt, daß die versäuerten organischen Schlamminhaltsstoffe, die in den Biogasreaktor eingeführt werden, zumindest zu 50% mineralisiert werden und aus dem Versäuerungsreaktor außerdem ein hauptsächlich aus Essigsäure bestehendes, kohlenstoffhaltiges Substrat abgezogen werden kann. Der Belebtschlamm und der Primärschlamm werden vor der Einführung in den Versäuerungsreaktor entwässert. Auch eine entsprechende Anlage sowie besondere Anwendungen werden angegeben.



DE 41 41 832 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer einer Kläranlage nachgeschalteten Anlage für die Weiterverarbeitung von Klärschlamm, der aus einer Mischung von vorentwässertem Belebtschlamm aus der Kläranlage und Primärschlamm besteht, wobei die Anlage für die Weiterverarbeitung des Klärschlammes einen anaerob betriebenen Versäuerungsreaktor sowie einen nachgeschalteten anaerob betriebenen Biogasreaktor aufweist. Es versteht sich, daß regelmäßig im Versäuerungsreaktor und/oder im Biogasreaktor eine Schlammumwälzung erfolgt. Das Biogas wird der Verwertung zugeführt.

Die Erfindung betrifft fernerhin eine Anlage für die Weiterverarbeitung von Klärschlamm, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren betreibbar ist. Die Erfindung betrifft fernerhin besondere Anwendungen des Verfahrens in bezug auf die zugeordnete Abwasserreinigungsanlage.

Bei dem bekannten Verfahren, von dem die Erfindung ausgeht (DE 35 34 605), wird dem Versäuerungsreaktor als Hilfsstoff ein pulverisiertes Trägermaterial, z. B. in Form von Aktivkohle oder Braunkohleaktivkohle beigegeben, und zwar dem dem Versäuerungsreaktor zufließenden Klärschlamm beigegeben. Auf diese Weise können der Versäuerungsreaktor und auch der Biogasreaktor mit wesentlich erhöhtem Trockensubstanzgehalt betrieben werden, was die Ausbeute der Anlage in bezug auf die Biogasmenge gegenüber einer Verfahrensweise ohne die beschriebene Zugabe um 20% und mehr erhöhen kann.

Im übrigen ist es bekannt, organische Schlämme oder Reststoffe durch Hydrolyse und anschließende Behandlung im alkalischen Bereich zu behandeln (EP 02 20 647 A1) bzw. durch Hydrolyse und Methanogenese (DE 40 00 834 A1) zu behandeln.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb einer einer Kläranlage nachgeschalteten Anlage für die Weiterverarbeitung von Klärschlamm anzugeben, welches zu einem weitgehend mineralisierten Schlamm mit verbesserten Entwässerungseigenschaften führt. Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, eine Anlage für die Weiterverarbeitung von Klärschlamm anzugeben, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren betreibbar ist. Der Erfindung liegt endlich die Aufgabe zugrunde, anzugeben, wo und wie das erfindungsgemäße Verfahren besonders wirksam eingesetzt werden kann.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird erfindungsgemäß die Kombination der folgenden Merkmale verwirklicht:

- a) als Hilfsstoffe werden Proteasen, Amylasen, Lipasen, Cellulasen oder Mischungen davon in den Versäuerungsreaktor eingeführt,
- b) der Versäuerungsreaktor wird im Temperaturbereich von 20° bis 70°C sowie in einem pH-Bereich von 3,5 bis 6,5 gefahren,
- c) einerseits die Temperatur und andererseits der pH-Wert werden in den zu b) angegebenen Bereichen so eingestellt, daß die versäuerten organischen Schlammmineralsstoffe, die in den Biogasreaktor eingeführt werden, zumindest zu 50% mineralisiert werden und aus dem Versäuerungsreaktor über eine Trenneinrichtung außerdem ein hauptsächlich aus Essigsäure bestehendes kohlenstoffhaltiges Substrat abgezogen wird, während der Rest des Substrates in den Biogasreaktor einge-

Der Schlamm, der aus dem Biogasreaktor abgezogen wird, kann leicht und sehr vollständig entwässert werden. Der Versäuerungsreaktor wird vorzugsweise im Temperaturbereich von 25° bis 60°C betrieben.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß durch die beschriebene Kombination eine sehr weitgehende Mineralisierung des Klärschlammes erreicht wird. Dadurch wird bei der Schlammmentwässerung hinter dem Biogasreaktor ein höherer Entwässerungsgrad erreicht, so daß die zu entsorgende Schlammmenge aufgrund des weitergehenden Abbaus der organischen Substanz und aufgrund des besseren Entwässerungsverhaltens des Faulschlammes erheblich abnimmt. Darüber hinaus kann das hauptsächlich aus Essigsäure bestehende kohlenstoffhaltige Substrat der Kläranlage, aus der der Belebtschlamm abgezogen wird, in Bereichen von Kohlenstoffdefiziten aufgeführt werden, und zwar zur Intensivierung der Abbauprozesse. Die Biogasproduktion ist abhängig von der beschriebenen Einführung des Substrates in Bereiche mit Kohlenstoffdefiziten der vorgeschalteten Kläranlage. Im einzelnen bestehen mehrere Möglichkeiten der weiteren Ausbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens. So kann aus dem Ablauf des Biogasreaktors Biomasse mechanisch separiert und in den Reaktionsraum des Biogasreaktors zurückgeführt werden. Es können aber in dem Biogasreaktor auch Festbetteinbauten angeordnet werden, auf denen sich Biomasse festsetzt, was eine gleichsam interne Biomassenanreicherung bewirkt.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann bei Anlagen für die Weiterverarbeitung des Klärschlammes hinter den verschiedensten biologischen Kläranlagen eingesetzt werden. Zu besonders ausgeprägten Effekten in bezug auf die mit der Erfindung verbundenen Vorteile kommt man, wenn das Verfahren einem nach der Adsorptionstechnologie arbeitenden Abwasserreinigungsprozeß mit Adsorptionsstufe und Belebungsstufe nachgeschaltet ist. Das gilt auch dann, wenn der nach der Adsorptionstechnologie arbeitende Prozeß eine Schlammrückführung aus der Belebungsstufe in die Adsorptionsstufe aufweist, wobei die Schlammrückführung jedoch so erfolgt, daß die Funktion der Adsorptionsstufe nicht beeinträchtigt wird, sondern die Schlammrückführung gleichsam als biologischer Stoß in der Adsorptionsstufe verarbeitet wird (vgl. P 40 36 548.4). Dies führt zu zwei Effekten, nämlich zu einer Minimierung des Belebtschlammmanfalls der B-Stufe und zu einer Unterstützung der Denitrifikation.

Gegenstand der Erfindung ist auch eine Anlage für die Weiterverarbeitung von Klärschlamm, die nach dem beschriebenen Verfahren besonders einfach und leicht optimierbar betreibbar ist. Zur Anlage gehören ein Versäuerungsreaktor und ein Biogasreaktor, wobei der Versäuerungsreaktor eine Klärschlammzuführungsleitung aufweist und wobei an die Klärschlammrückführungsleitung eine Einrichtung für die dosierte Zuführung der Biokatalysatoren angeschlossen ist. Der Biogasreaktor kann Festbetteinbauten und/oder eine Einrichtung für die Rückführung von Biomasse in den Biogasreaktor aufweisen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand einer lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung ausführlicher erläutert. Die einzige Figur zeigt das Schema einer Anlage für die Weiterverarbeitung von Klärschlamm, die für das erfindungsgemäße Verfahren besonders geeignet ist.

Die in dem Schema dargestellte Anlage für die Weiterverarbeitung von Klärschlamm weist einen Versäuerungsreaktor 1 und einen Biogasreaktor 2 auf. Der Versäuerungsreaktor 1 ist an eine Klärschlammzuführungsleitung 3 angeschlossen. In dieser Klärschlammzuführungsleitung 3 befindet sich ein Wärmetauscher 4. Die Klärschlammzuführungsleitung 3 ist an eine Belebtschlammzuführung 5 und an eine Primärschlammzuführung 6 angeschlossen. Der Belebtschlamm und der Primärschlamm werden im Ausführungsbeispiel vor der Mischung zum zu behandelnden Klärschlamm in besonderen Einrichtungen 7 entwässert. Aus dem Versäuerungsreaktor 1 wird ein Substrat über eine Leitung 8 abgezogen, es kann auch im Kreislauf geführt werden. Im übrigen geht aus dem Versäuerungsreaktor 1 wie üblich Abluft bei 9 ab. Das Substrat aus dem Versäuerungsreaktor 1 ist in den Biogasreaktor 2 einführbar, und zwar über eine Einrichtung 10, aus der außerdem ein hauptsächlich aus Essigsäure bestehendes, kohlenstoffhaltiges Substrat über die Leitung 11 abgezogen werden kann, um in Kohlenstoffdefizitbereichen der vorgeschalteten Kläranlage in diese eingeführt zu werden. Die vorgeschaltete Kläranlage wurde nicht gezeichnet. Man erkennt, daß das Biogas über ein Leitungssystem 12 umwälzbar ist, um in dem Biogasreaktor 2 eine Schlammumwälzung zu verwirklichen. Auch der Versäuerungsreaktor 1 kann mit einer Schlammumwälzung ausgerüstet sein. Das Biogas wird über die Leitung 13 der Verwertung zugeführt. Im übrigen ist eine Biomassenrückführungseinrichtung 14 vorgesehen. Der behandelte Schlamm wird in einer besonderen Einrichtung 15 in Trübwasser und Schlamm getrennt, wobei eine sehr weitgehende Entwässerung stattfindet. Der Schlamm kann über die Leitung 16 abgezogen werden, das Trübwasser über die Leitung 17. Wesentlich für die Erfindung ist die Zuführung eines Biokatalysators über die Leitung 18. Er wird intensiv mit dem Klärschlamm vermischt.

Die Betriebsweise wird im folgenden beschrieben: Sedimentativ oder maschinell entwässerter Klärschlamm wird über den Wärmetauscher 4, mit dem die für die biochemischen Reaktionen erforderliche Temperatur des Versäuerungsreaktors 1 eingestellt wird, in den Versäuerungsreaktor 1 eingeführt. Der Biokatalysator, der über 18 zugeführt wird, wird intensiv mit dem Klärschlamm vermischt. Die Durchmischung kann durch einen Umwälzbetrieb oder auf andere Weise erfolgen. Der Biokatalysator wirkt im biologischen Sinne katalysierend auf die biochemischen Reaktionen bei der Hydrolyse und bei der Versäuerung. Man erreicht einen weitgehenden Abbau der Klärschlammminhaltstoffe zu niederen organischen Säuren, hauptsächlich zu Essigsäure. Als Biokatalysator werden die beschriebenen Substanzen beigegeben. Die Temperatur im Versäuerungsreaktor 1 liegt in Abhängigkeit von dem eingesetzten Biokatalysator vorzugsweise zwischen 25° und 60°C, der pH-Wert liegt im Bereich zwischen 3,5 und 6,5. In einer dem Versäuerungsreaktor 1 nachgeschalteten Einrichtung 10 wird ein Teil der Flüssigkeit abgetrennt, wobei in der flüssigen Phase eine hohe Konzentration niederer organischer Säuren vorliegt, die eine ideale Kohlenstoffquelle für biologische Prozesse darstellen. Dieses leicht abbaubare Substrat ist im Rahmen der Erfindung dem Abwasserreinigungsprozeß zuführbar und wird in der vorgeschaltete Abwasserreinigungsanlage im Bereich von Kohlenstoffdefiziten eingeführt. Bei einem hohen Bedarf an einem solchen Substrat kann die Entwässerung des zugehenden Belebtschlammes bzw.

Klärschlammes reduziert werden oder entfallen. Es kann insbesondere eine gemeinsame sedimentative Vorentwässerung des Belebtschlammes und des Primärschlammes über die Einrichtungen 7 erfolgen. Auf diese Weise kann der dem Versäuerungsreaktor 1 zugeführte Volumenstrom verkleinert werden. Eventuell überschüssiges Substrat kann dem Biogasreaktor 2 zur weiteren anaeroben Behandlung zugeführt werden. Der Biogasreaktor 2 wird im Ausführungsbeispiel durch die beschriebene Gaseinpressung oder auch hydraulisch bzw. mechanisch durchmischt. Zur Intensivierung der Methanisierung wird über 14 Biomasse in den Biogasreaktor zurückgeführt. Auf diese Weise wird die beschriebene Biomasseanreicherung bewirkt. Die Temperatur im Biogasreaktor 2 liegt zwischen 33° und 38°C. Der pH-Wert im Bereich von 6,5–7,5.

Im Ergebnis erreicht man eine weitgehende Mineralisierung des zugeführten Belebtschlammes und zugeführten Primärschlammes. Dadurch wird bei der Schlammmentwässerung bei 15 ein sehr hoher Entwässerungsgrad erreicht, so daß die zu entsorgende Schlammmenge aufgrund des weitergehenden Abbaus der organischen Substanz und aufgrund des besseren Entwässerungsverhaltens des Faulschlammes erheblich abnimmt. Die Biogasproduktion ist abhängig von dem Bedarf der Kläranlage an dem/aus dem/hinter dem Versäuerungsreaktor 1 abgezogenen Substrat. Bei geringerem Bedarf an diesem Substrat steigt die Biogasproduktion im Vergleich zur konventionellen Faultechnik erheblich an.

Das beschriebene Verfahren ist analog anwendbar, wenn in die Weiterverarbeitungsanlage für Klärschlamm nicht Klärschlamm, sondern hochkonzentrierte Industrieabwässer eingeführt werden. Die Funktionsweise des Versäuerungsreaktors 1 und des Biogasreaktors 2 bleiben unverändert. Zur Nachreinigung wird das anfallende, anaerob vorbehandelte Abwasser zweckmäßigerweise einer aeroben Nachbehandlung zugeführt, bei der das zuvor gewonnene hauptsächlich aus Essigsäure bestehende, kohlenstoffhaltige Substrat in analoger Weise als Kohlenstoffquelle eingesetzt werden kann.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer einer Kläranlage nachgeschalteten Anlage für die Weiterverarbeitung von vorentwässertem Klärschlamm, der aus einer Mischung von Belebtschlamm aus der Kläranlage und Primärschlamm besteht, wobei die Anlage für die Weiterverarbeitung des Klärschlammes einen anaerob betriebenen Versäuerungsreaktor sowie einen nachgeschalteten anaerob betriebenen Biogasreaktor aufweist und wobei die Kombination der folgenden Merkmale verwirklicht wird:

- a) als Hilfsstoffe werden Proteasen, Amylasen, Lipasen, Cellulasen oder Mischungen davon in den Versäuerungsreaktor eingeführt,
- b) der Versäuerungsreaktor wird im Temperaturbereich von 20° bis 70°C sowie in einem pH-Bereich von 3,5 bis 6,5 gefahren,
- c) einerseits die Temperatur und andererseits der pH-Wert werden in den zu b) angegebenen Bereichen so eingestellt, daß die versäuerten organischen Schlammminhaltstoffe, die in den Biogasreaktor eingeführt werden, zumindest zu 50% mineralisiert werden und aus dem Versäuerungsreaktor über eine Trenneinrichtung

tung außerdem ein hauptsächlich aus Essigsäure bestehendes, kohlenstoffhaltiges Substrat abgezogen wird, während der Rest des Substrates in den Biogasreaktor eingeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Versäuerungsreaktor im Temperaturbereich von 25° bis 60°C betrieben wird. 5
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei das hauptsächlich aus Essigsäure bestehende kohlenstoffhaltige Substrat der Kläranlage, aus der der Belebtschlamm abgezogen wird, in Bereichen von Kohlenstoffdefiziten zugeführt wird. 10
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei aus dem Ablauf des Biogasreaktors Biomasse mechanisch oder sedimentativ separiert und in den Biogasreaktor zurückgeführt wird. 15
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei in dem Biogasreaktor Festbetteinbauten angeordnet werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, das einem nach der Adsorptionstechnologie arbeitenden Abwasserreinigungsprozeß mit Adsorptionsstufe und Belebungsstufe nachgeschaltet ist. 20
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der nach der Adsorptionstechnologie arbeitende Prozeß eine Schlammrückführung aus der Belebungsstufe in die Adsorptionsstufe aufweist. 25
8. Anlage für die Weiterverarbeitung von Klärschlamm nach einem der Ansprüche 1 bis 7 mit einem Versäuerungsreaktor (1) und einem Biogasreaktor (2), wobei der Versäuerungsreaktor (1) eine Klärschlammzuführungsleitung (3) aufweist und wobei an die Klärschlammzuführungsleitung (3) eine Einrichtung (18) für die dosierte Zuführung der Biokatalysatoren angeschlossen ist. 30
9. Anlage nach Anspruch 8, wobei der Biogasreaktor (2) Festbetteinbauten und/oder eine Einrichtung (14) für eine Rückführung von Biomasse in den Biogasreaktor aufweist. 35

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen -

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

